ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ
PROCESSES AND MACHINES OF AGRO - ENGINEERING SYSTEMS



УДК 636.085.55:636.085.68:675.92.027.3 DOI 10.12737/19684

Исследования процесса экструдирования смеси зерновых концентратов с измельченной зеленой массой бобовых трав*

В. И. Пахомов[1], С. В. Брагинец[2], А. С. Алфёров[3], М. В. Гайдаш[4], Ю. В. Степанова[5]**

[1,5] Донской государственный технический университет. г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

[1,2,3,4] Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, г. Зерноград Ростовской области, Российская Федерация

Study on extruding process of grain concentrate mixture with chopped green mass of legumes ***

V. I. Pakhomov[1], S. V. Braginets[2], A. S. Alferov[3], M. V. Gaydash[4], Y. V. Stepanova[5]**

[1,5] Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

[1,2,3,4] North Caucasian Research Institute of Agricultural Engineering and Electrification of Agriculture, Zernograd, Rostov region, Russian Federation

Целью данной работы является исследование перспективного способа повышения питательной ценности комбикормов путем совместного экструдирования зерновых смесей с измельченной растительной массой бобовых трав, отличающихся повышенным содержанием витаминов и белков. Задача исследования — экспериментальное определение рациональных параметров и режимов работы оборудования для процесса экструдирования. Использовались типовые методы исследования процесса экструдирования, при которых изменялись свойства сырья и режимы работы экструдера ЭК-75 (75 кг/ч): влажность экструдируемой смеси, массовая доля измельченной зелени в смеси и частота вращения шнека экструдера при различной величине подачи смеси. В качестве основного маркера процесса использовалось остаточное содержание β-каротина как достаточно ценного, но нестойкого компонента получаемого продукта. Ограничительными условиями являлись органолептические свойства продукта, влажность после остывания, наличие неразрушенного зернового материала. Энергоэффективность процесса оценивалась критериями удельных энергозатрат. В результате исследования процесса экструдирования определены его оптимальные характеристики: подача смеси — 60 кг/ч; температура смеси на выходе из матрицы — 120–125 °C; содержание измельченной зеленой массы в смеси — 14–15 %; частота вращения шнека — 220–240 мин$^{-1}$ при удельных энергозатратах 90–95 кВт·ч/т.

The work objective is to study an advanced way of enhancing the nutritive value of the mixed feed by co-extrusion of the grain mixtures with chopped green legumes that differ in high content of vitamins and protein. The task of this investigation is an experimental determination of rational parameters and operating modes of the equipment for the extrusion process. Standard techniques are used to study the extrusion process when the properties of raw materials and modes of the extruder EC-75 (75kg/hr) change: extrudable mixture humidity, weight percentage of the chopped green mass in the mixture, and the extruder screw frequency of rotation at different feed rate of the mixture. The residual content of β-carotene as a quite valuable but impermanent component of the received product is used as a key marker of the process. The restrictive conditions are organoleptical properties of the product, humidity after cooling, and occurrence of the undistorted grain material. Energy efficiency of the process is evaluated by the criteria of the specific energy consumption. The study results of the extrusion process are as follows. Its optimal characteristics are determined: mixture supply is 60 kg / hr, mixture temperature at the matrix outlet is 120-125°C, content of the chopped green mass in the mixture is 14-15%, screw rate speed is 220-240 rpm with the specific energy consumption of 90-95 kW hr/t.

Ключевые слова: экструдирование, пресс-экструдер, комбикорм, каротин, зеленая масса, бобовые травы, энергоэффективность.

Keywords: extrusion, extruder, combined feed, carotene, green mass, leguminous plants, energy efficiency.

---

*Работа выполнена по теме № 0708-2014 — 0009 в рамках выполнения Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013– 2020 гг. в части НИР.

**E-mail: vniptim@gmail.com, sbraginets@mail.ru, alfa-8303@yandex.ru, gaydash-m@mail.ru, julija_stepanova@ro.ru

*** The research is done on theme no. 0708-2014 — 0009 within the frame of the Program of fundamental scientific research of National Academy of Sciences for 2013– 2020 in R&D.

Введение. Эффективность использования кормов является основным фактором конкурентоспособности отечественной животноводческой продукции на внутреннем и мировом рынках [1]. Имея переизбыток зерновых кормов, сельхозтоваропроизводители уделяют недостаточно внимания их рациональному применению. Из-за несбалансированности рационов и недостаточной предварительной подготовки кормовых компонентов до 50 % питательных веществ может не усваиваться организмом животного. При этом отмечается наиболее выраженная нехватка в рационах животных и птицы незаменимых аминокислот и витаминов [2].

Одним из перспективных направлений повышения качества и питательной ценности комбикормов является введение в их состав новых доступных и недорогих видов растительного сырья, содержащих сбалансированный комплекс белков, липидов, органических кислот, минеральных веществ, витаминов [3, 4]. Таким доступным и недорогим видом сырья являются травы, наиболее предпочтительны бобовые.

Технологический процесс производства кормов предполагает, что часть зернового сырья в целом или измельченном виде смешивается с измельченной зеленой массой бобовых трав. Полученная смесь экструдируется, подвергаясь при этом кратковременному, но очень интенсивному механическому и баротермическому воздействию. За счет высокой температуры (110–160 °С), давления (2–4 МПа) и сдвиговых усилий в винтовых рабочих органах пресс-экструдера меняется структурно-механический и химический состав исходной смеси [5, 6]. В полученном экструдированном корме в достаточной мере сохраняются витамины и биологически активные вещества, в том числе каротин, а бактерии и микроскопические плесневые грибы в подавляющем большинстве уничтожаются. Кроме того, происходит частичная декстринизация крахмала зернового сырья [7].

Задачей исследований являлось экспериментальное определение рациональных параметров и режимов работы оборудования в процессе экструдирования зерновой смеси с измельченной зеленой массой бобовых трав.

Материалы и методы. Исследования проводились на разработанном и изготовленном экспериментальном образце технологического модуля для экструдирования зернотравяной смеси, включающем одношнековый пресс-экструдер с дополнительным дозатором зеленой массы.

В качестве зерновой основы в эксперименте использовалась зернобобовая смесь урожая 2014 года (пшеница, ячмень, кукуруза, горох в соотношении 4:3:2:1), по совокупной твердости компонентов соответствующая большинству рационов для свиней и птицы, исходной влажностью W = 9,6 … 11,2 %, с содержанием каротина менее 0,2 %.

Травяная составляющая представляла собой предварительно измельченную вегетативную массу люцерны первого укоса, заготовленную в стадии бутонизации, влажностью 75–80 %, с содержанием каротина 220 мг/кг. Размер фракции травяной резки не превышал 10 мм.

При необходимости зерновые ингредиенты комбикорма измельчались в молотковой дробилке с вертикальным валом ротора ВД-1.

Из факторов, оказывающих влияние на технологический процесс экструдирования, были отобраны основные:
— частота вращения шнека, мин $^{-1}$;
— влажность экструдируемой смеси, %;
— температура готового продукта на выходе из матрицы, °С;
— содержание травяной резки в смеси (по массе), %;
— величина подачи смеси, кг/ч.

Остальные факторы находятся в прямой зависимости от них либо не оказывают существенного влияния на рассматриваемый процесс.

Для оценки эффективности процесса экструдирования кормов выбрано два критерия: содержание каротина в экструдате и энергоемкость.

К факторам, от которых зависит режим работы пресс-экструдера, отнесено содержание зеленой массы бобовых трав в смеси, так как включение этого вида сырья с начальной влажностью 40–70 % в смесь в количестве 10–20 % обеспечивает средневзвешенное содержание массовой доли влаги в получаемом корме в пределах рекомендованной, т. е. 16–27 % [8].

Содержание каротина (в мг/кг сухого веса) рассчитывали согласно ГОСТ 13496.17-95 фотометрическим методом. Сущность метода состоит в растворении каротина в петролейном эфире и фотометрическом измерении окраски, интенсивность которой зависит от содержания каротина. Влажность экспериментального материала определяли высушиванием при t $(105\pm2)^0$С по ГОСТ 27548-97.

Экспериментальные исследования. Результаты проведенных исследований показали, что при влажности исходной смеси 18–21 % получается экструдат влажностью до 14,5%, не требующий дальнейшей сушки. В течение всей серии опытов производительность пресс-экструдера составляла 50–70 кг/ч при удельной энергоемкости процесса 85–100 кВт·ч/т.

Подача исходной смеси практически не влияет на содержание каротина в экструдате, а удельная энергоемкость процесса экструдирования увеличивается при повышении подачи на 40–46 %. При этом качество получаемого экструдата

снижается, он становится более рыхлым и имеет повышенную влажность (20–22 %) (рис. 1).

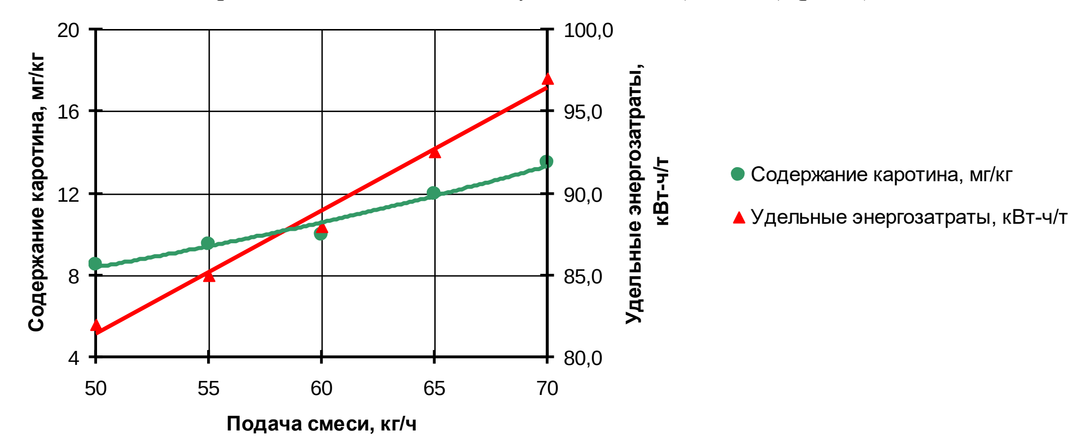


Рис. 1. Влияние подачи исходной смеси на содержание каротина в экструдате и энергоемкость процесса экструдирования

В ходе дальнейших исследований начальная влажность измельченной зеленой массы варьировалась в пределах 40–70 %, что в свою очередь определяло влажность смеси 12–22 % (рис. 2).

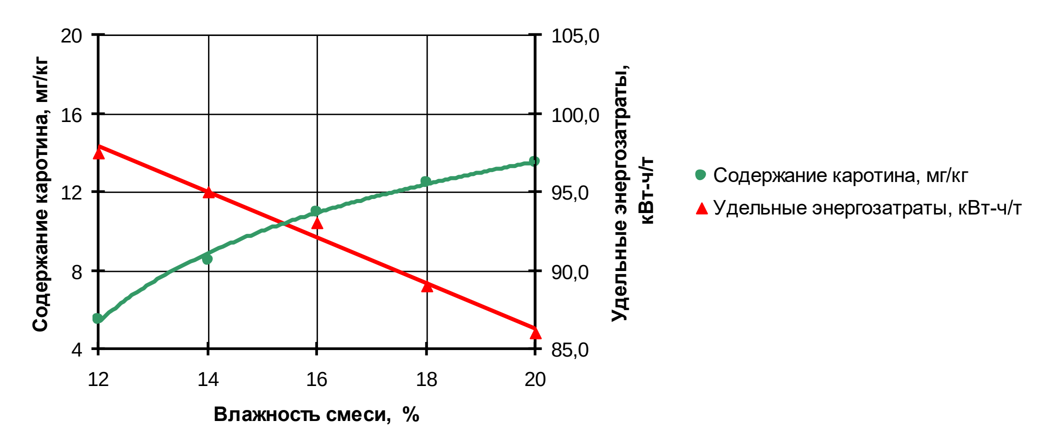


Рис. 2. Влияние влажности смеси на содержание каротина в экструдате и энергоемкость процесса экструдирования

Исходя из результатов проведенного эксперимента можно утверждать, что при подсушивании зеленой массы до влажности 40 % происходит незначительная (4,6–5,4 %) потеря каротина. Но при дальнейшем снижении влажности содержание каротина существенно снижается, поэтому сушить зеленую массу до влажности менее 40 % нецелесообразно. Очевидно, отмеченный эффект можно объяснить следующим образом. Дополнительная влага позволяет снизить длительность и интенсивность экстремального термобараметрического воздействия на химически нестойкий β-каротин.

Доказано, что одним из основных факторов, влияющих на сохранность каротина в экструдате, является исходная влажность зерна и (в большей степени) зеленой массы. При этом экструдат с начальной влажностью зеленой массы 40 % имел конечную влажность 14,8 %, а с начальной влажностью 70 % — не менее 21 %. Следовательно, перед смешиванием с зерносмесью и экструдированием измельченную зеленую массу люцерны необходимо предварительно подсушивать.

Также на сохранность каротина при экструдировании влияет рабочая температура на выходе из фильеры матрицы экструдера, зависящая от различных факторов: диаметра фильеры, объема и скорости подачи смеси, частоты вращения шнека, влажности, содержания зеленой массы в смеси и др. Таким образом, следует определить режимы работы пресс-экструдера, при которых сохранность каротина максимальна и готовый экструдат обладает требуемым качеством [9].

Полученные в результате проведенных исследований данные показали, что качественный экструдат с наибольшим содержанием каротина можно получить при температуре 110–125 °C (рис. 3). Дальнейшее увеличение температуры ведет к резкому снижению содержания каротина в готовом продукте.

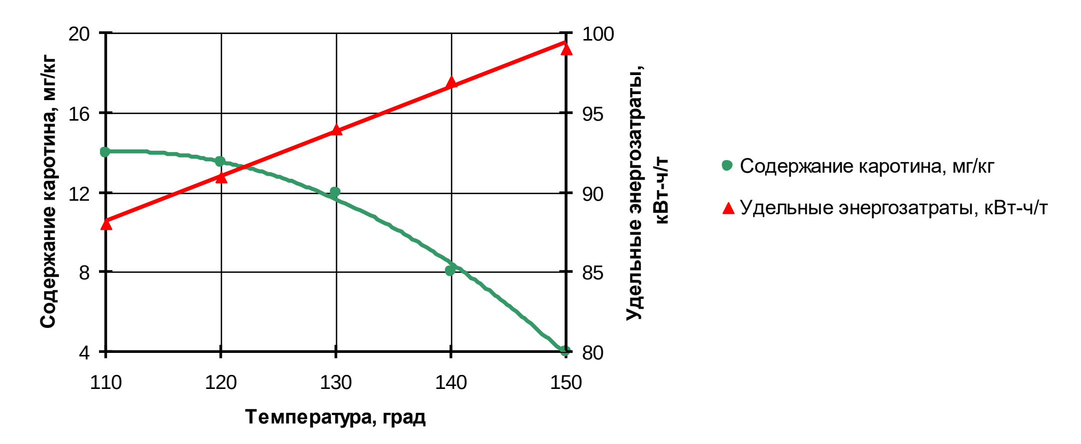


Рис. 3. Влияние температуры смеси на содержание каротина в экструдате и энергоемкость процесса экструдирования

Увеличение содержания зеленой массы в смеси, безусловно, влияет на содержание каротина в экструдате (рис. 4). Но при содержании травяной резки в смеси более 20 % снижается качество получаемого продукта. При этом он имеет повышенную влажность и рыхлость. Поэтому рациональный уровень содержания зеленой массы люцерны в смеси — 15–20 %.

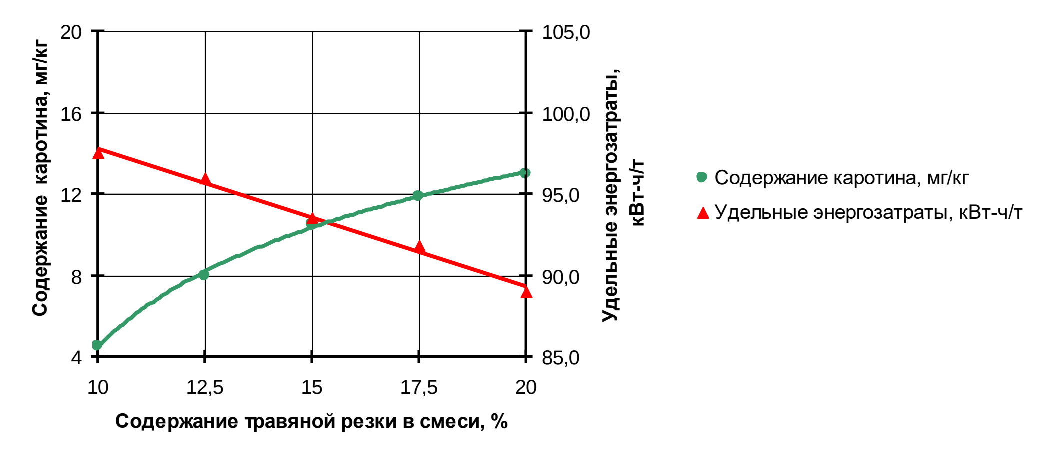


Рис. 4. Влияние содержания травяной резки на содержание каротина в экструдате и энергоемкость процесса экструдирования

Частота вращения шнека пресс-экструдера влияет на температуру экструдата, которая, в свою очередь, влияет на содержание в нем каротина. Увеличение частоты вращения шнека приводит к уменьшению содержания каротина в готовом продукте. Из графика на рис. 5 следует, что рациональная частота вращения шнека пресс-экструдера равна 220–240 мин$^{-1}$.

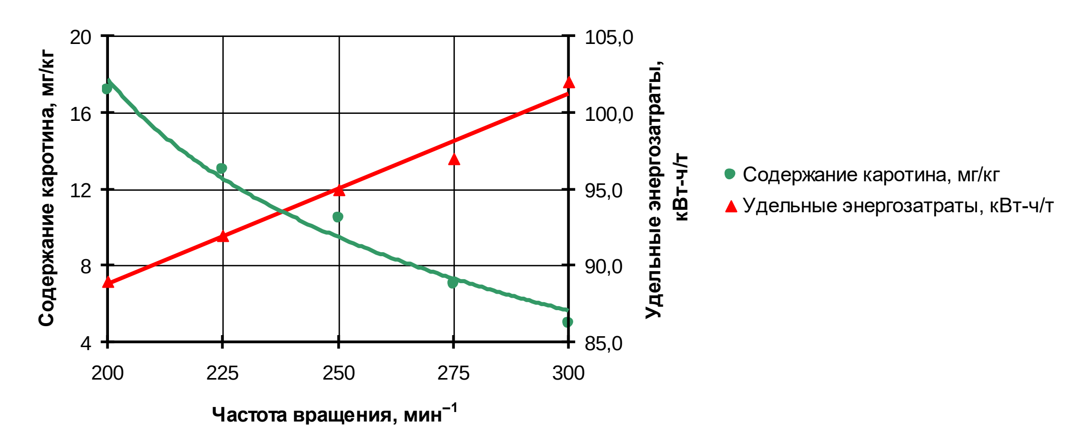


Рис. 5. Влияние частоты вращения шнека пресс-экструдера на содержание каротина в экструдате и энергоемкость процесса экструдирования

Выводы. Рациональными параметрами процесса экструдирования смеси комбикорма с измельченной зеленой массой бобовых трав являются:
— подача экструдируемой смеси — 60 кг/ч;
— температура смеси на выходе из фильеры матрицы экструдера — 120–125 °С;
— содержание измельченной зеленой массы в смеси — 14–15 %;
— частота вращения шнека пресс-экструдера — 220–240 мин $^{-1}$.

При этом влажность получаемого экструдированного корма не превышает 14,5 % при удельных энергозатратах 90–95 кВт ч/т.

Библиографический список

1. Пахомов, В. И. Оборудование для приготовления полнорационных комбикормов в условиях хозяйств / В. И. Пахомов, А. В. Смоленский, А. С. Алферов // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2012. — Т. 12, № 7 (68). — С. 108–114.

2. Афанасьев, В. А. Разработка и внедрение инновационных технологических и технических решений для комбикормовой промышленности / В. А. Афанасьев // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания. — 2013. — № 1. — С. 39–46.

3. Егоров, Б. В. Экструдированные комбикорма на основе люцерновой резки / Б. В. Егоров, В. В. Гончаренко, Н. В. Хоренжий // Зернові продукти і комбікорми. — 2004. — № 3. — С. 30–34.

4. Ramos Diaz, J.-M. Use of amaranth, quinoa, kañiwa and lupine for the development of gluten-free extruded snacks / J.-M. Ramos Diaz. — Helsinki : Unigrafia, 2015. — P. 134.

5. Михайлусь, Е. А. Реологические характеристики комбикорма с использованием протеиновых зеленых концентратов / Е. А. Михайлусь, Д. В. Рудой, Т. И. Тупольских // Состояние и перспективы развития с/х машиностроения : мат-лы 7-й междунар. науч.-практ. конф. в рамках 17-й междунар. выставки «Интерагромаш-2014». — Ростов-на-Дону, 2014. — С. 119–121.

6. Технологические и технические решения для производства комбикормов с включением зеленой массы кормовых трав / С. В. Брагинец [и др.] // Вестник Всерос. науч.-исслед. ин-та механизации животноводства. — 2015. — № 4 (20). — С. 25–29.

7. Effects of extrusion of grain and feeding frequency on rumen fermentation, nutrient digestibility, and milk yield and composition in dairy cows / Z. Snabi [et al.] // Journal of Dairy Science. — 1999. — Vol. 82. — P. 1252–1260.

8. Кощаев, А. Г. Фракционирование сока люцерны для получения кормовых добавок / Г. А. Плутахин, О. В. Кощаева // Научный журнал КубГАУ. — 2013. — № 94 (10). — С. 12–15.

9. Цугленок, Н. В. Повышение энергетической эффективности использования технических средств отжатия зеленого сока растений за счет конструктивного совершенствования систем питания / Н. В. Цугленок, В. В. Матюшев, Г. И. Цугленок // Вестник Красноярского гос. аграрного ун-та. — 2012. — № 20 (5). — С. 6–7.

References

1. Pakhomov, V.I., Smolenskiy, A.V., Alferov, A.S. Oborudovanie dlya prigotovleniya polnoratsionnykh kombikormov v usloviyakh khozyaystv. [Complete feed equipment under intrafarm conditions.] Vestnik of DSTU, 2012, vol. 12, no. 7 (68), pp. 108–114 (in Russian).

2. Afanasyev, V.A. Razrabotka i vnedrenie innovatsionnykh tekhnologicheskikh i tekhnicheskikh resheniy dlya kombikormovoy promyshlennosti. [Development and implementation of innovative technological and technical solutions for the mixed feed industry.] Tekhnologii pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti APK — produkty zdorovogo pitaniya, 2013, no. 1, pp. 39–46 (in Russian).

3. Yegorov, B.V., Goncharenko, V.V., Khorenzhiy, N.V. Ekstrudirovannye kombikorma na osnove lyutsernovoy rezki. [Extruded fodder based on chopping alfalfa.] Зернові продукти і комбікорми, 2004, no. 3, pp. 30–34 (in Russian).

4. Ramos Diaz, J.-M. Use of amaranth, quinoa, kañiwa and lupine for the development of gluten-free extruded snacks. Helsinki: Unigrafia, 2015, p. 134.

5. Mikhaylus, E.A., Rudoy, D.V., Tupolskikh, T.I. Reologicheskie kharakteristiki kombikorma s ispol'zovaniem proteinovykh zelenykh kontsentratov. [Rheological characteristics of feed with green protein concentrates.] Sostoyanie i perspektivy razvitiya s/kh mashinostroeniya : mat-ly 7-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf. v ramkakh 17-y mezhdunar. vystavki «Interagromash-2014». [Current state and development trends of Agricultural Machine Building: Proc. 7th Int. Sci.-Pract. Conf. within 17th Int. Exhibition “Interagromash-2014”.] Rostov-on-Don, 2014, pp. 119–121 (in Russian).

6. Braginets, S.V., et al. Tekhnologicheskie i tekhnicheskie resheniya dlya proizvodstva kombikormov s vklyucheniem zelenoy massy kormovykh trav. [The combined feed production with forage grasses green mass inclusion’s technological and technical solutions.] Journal of VNIIMZH, 2015, no. 4 (20), pp. 25–29 (in Russian).

7. Snabi, Z., et al. Effects of extrusion of grain and feeding frequency on rumen fermentation, nutrient digestibility, and milk yield and composition in dairy cows. Journal of Dairy Science, 1999, vol. 82, pp. 1252–1260.

8. Koshchaev, A.G., Plutakhin, G.A., Koshchaeva, O.V. Fraktsionirovanie soka lyutserny dlya polucheniya kormovykh dobavok. [Fractionation of lucerne juice to obtain feed additives.] Scientific Journal of KubSAU, 2013, no. 94 (10), pp. 12–15 (in Russian).

9. Tsuglenok, N.V., Matyushev, V.V., Tsuglenok, G.I. Povyshenie energeticheskoy effektivnosti ispol'zovaniya tekhnicheskikh sredstv otzhatiya zelenogo soka rasteniy za schet konstruktivnogo sovershenstvovaniya sistem pitaniya. [Power efficiency increase of the technical facilities use for green plant moisture squeezing by means of power supply system constructive perfection.] The Bulletin of KrasGAU, 2012, no. 20 (5), pp. 6–7 (in Russian).

Поступила в редакцию 29.02.2016
Сдана в редакцию 29.02.2016
Запланирована в номер 23.03.2016